

**19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT**

Offenlegungsschrift
DE 199 14 793 A 1

(51) Int. Cl.⁷:
H 04 B 10/08
 G 08 C 23/06
 H 04 L 12/26

②1 Aktenzeichen: 199 14 793.0
 ②2 Anmeldetag: 31. 3. 1999
 ④3 Offenlegungstag: 26. 10. 2000

DE 199 14 793 A 1

⑦1 Anmelder:
Siemens AG, 80333 München, DE

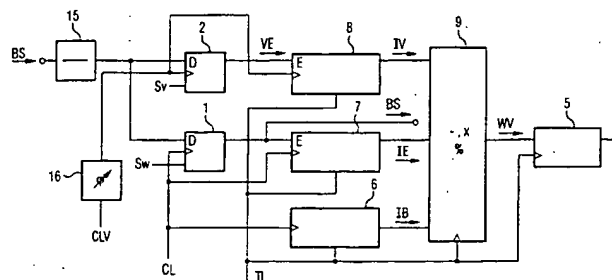
(72) Erfinder:
Bleck, Oliver, 80639 München, DE; Müllner, Ernst,
Dr.-Ing., 80995 München, DE; Glingener, Christoph,
Dr.-Ing., 83620 Feldkirchen-Westerham, DE;
Neudecker, Albrecht, 81369 München, DE; Heppner,
Björn-Haiko, Dr.-Ing., 81477 München, DE;
Wiesmann, Rainer, Dr.-Ing., 82269 Geltendorf, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Verfahren und Anordnung zur Messung der Signalqualität in einem optischen Übertragungssystem

57 Ein empfangenes binäres Signal (BS) wird mit unterschiedlichen Schwellen abgetastet, die Abtastergebnisse werden integriert und abgespeichert. Aus den gemessenen Wahrscheinlichkeitsverteilungen oder Wahrscheinlichkeitsdichteverteilungen können Rückschlüsse auf die Signalqualität, beispielsweise die Bitfehlerrate, gemacht werden und das System optimiert werden.



Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Anordnung zur Messung der Signalqualität in einem optischen Übertragungssystem. Die Ergebnisse können zur Verbesserung der Signalqualität, beispielsweise zur Optimierung der Dispersionskompensation verwendet werden.

Aufgrund der Messungen von statistischen Eigenschaften eines empfangenen Binärsignals können Aussagen über dessen Qualität und damit auch der Eigenschaften des Übertragungssystems und der Übertragungsstrecke gemacht werden. Diese Aussagen können wiederum zur Optimierung des Systems, beispielsweise zur Einstellung eines optimalen Abtastzeitpunktes, einer optimalen Abtastschwelle oder zur Dispersionskompensation, verwendet werden.

Aus der deutschen Offenlegungsschrift DE 195 04 896 A1 ist eine Überwachung der Signalqualität transparenter optischer Netze bekannt, bei der eine stichprobenartige Abtastung eines Signals vorgenommen wird. Die so gewonnenen Amplituden-Stichproben werden mittels eines bekannten statistischen Verfahrens ausgewertet. In einer älteren Patentanmeldung Aktenzeichen ... DE 198 17 078.8 wird dieses Verfahren weiterentwickelt, in dem nur die äußeren Flanken einer aus den Meßergebnissen abgeleiteten Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion ausgewertet werden. So kann beispielsweise die Bitfehlerrate abgeschätzt werden. Das hier beschriebene Verfahren setzt jedoch sehr schnelle Abtast- und Speichermöglichkeiten voraus.

In einem Aufsatz von Hitoshi Takashita und Naoya Henmi Optical Fiber Communication Conference (OFC) 99, San Diego, California, FJ 2-1, p. 149-151 wird in einem Artikel "A novel data format free bit-by-bit quasi-error monitoring method for optical transport network" eine Empfangsschaltung mit zwei Abtastschaltungen verwendet, die unterschiedliche Schwellen aufweisen. Durch Messungen wird ein direkter Zusammenhang zwischen der Bitfehlerrate und den Vergleichsergebnissen beider Abtastschaltungen festgestellt. Weitere statistische Aussagen werden nicht gemacht.

Aufgabe der Erfindung ist es, Messverfahren anzugeben, mit denen statistisch auswertbare Verteilungsfunktionen ermittelt werden können.

In weiteren Teilaufgaben sind die Anwendung zur Verbesserung der Signalqualität, beispielsweise durch Optimierung der Dispersionskompensation, und eine geeignete Meßanordnung anzugeben.

Die Hauptaufgabe wird in unabhängigen Patentansprüchen 1 und 2 angegebenen Verfahren gelöst.

Eine Anwendung des Verfahrens zur Dispersionskompensation ist im Anspruch 10 und eine Anordnung zum Messen der Signalqualität ist in dem unabhängigen Anspruch 12 angegeben.

Vorteilhaft bei dem Verfahren nach Anspruch 1 ist, daß durch Variieren der Schwelle eines zweiten Entscheiders von Meßintervall zu Meßintervall und durch Vergleich der abgetasteten Daten eine Wahrscheinlichkeitsverteilung gemessen wird, aus der die Verteilungsdichtefunktion für das Auftreten bestimmter Empfangspegel zu den Abtastzeitpunkten - die Abtastwerte - ermittelt werden können. Vorteilhaft ist eine sich an die Abtastung anschließende Integration der binären Entscheidungen, so daß nur eine einfache und langsame Verarbeitung erforderlich ist.

Eine besonders vorteilhafte Ausbildung der Erfindung verzichtet auf den Vergleich der mit unterschiedlichen Schwellen abgetasteten Bits und zählt (integriert) jeweils innerhalb eines Meßintervalls die bei einer bestimmten Schwelle als logische Eins (oder als logische Null) bewerte-

ten Bits sowie die Anzahl der Bits. Bei ungleichgewichtigen Codierungen kann die Anzahl der logischen Einsen (oder logischen Nullen) im Arbeitskanal mitbewertet werden, um bei unterschiedlichen Verteilungen der Binärzustände 5 Schwankungen zu vermeiden. Aus einer Vielzahl von Messungen mit unterschiedlichen Abtastschwellen wird wieder die Wahrscheinlichkeitsfunktion ermittelt.

Durch die Verwendung von mehreren Meßkanälen mit unterschiedlichen Abtastschwellen kann die Meßzeit erheblich 10 reduziert werden.

Aufgrund der gemessenen Verteilungskurven kann auf die Qualität des empfangenen Binärsignals und damit die Eigenschaften des optischen Übertragungssystems geschlossen werden. Die gewonnenen Erkenntnisse können 15 zur Optimierung des Systems, beispielsweise der Abtastung sowie der Dispersionskompensation, verwendet werden.

Eine geeignete Meßeinrichtung kann im Zeitmultiplex-Betrieb sowohl die wesentlichen Signalparameter wie Wellenlänge, Leistung, Signal-Rausch-Abstand als auch statistische Messungen durchführen.

Die Erfindung wird anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert.

Es zeigen:

Fig. 1 eine Meßeinrichtung zur Messung der Wahrscheinlichkeitsverteilung,

Fig. 2 eine Wahrscheinlichkeitsdichteverteilung in Abhängigkeit von unterschiedlichen Schwellwerten,

Fig. 3 eine mit einer Schaltung nach Fig. 1 gemessene Wahrscheinlichkeitsverteilung,

Fig. 4 eine weitere Meßeinrichtung zur Messung der Wahrscheinlichkeitsverteilung,

Fig. 5 eine ideale Wahrscheinlichkeitsdichteverteilung,

Fig. 6 eine gemessene Wahrscheinlichkeitsverteilung bei unterschiedlichen Schwellwerten,

Fig. 7 eine hieraus abgeleitete Wahrscheinlichkeitsdichte, 35 Fig. 8 eine Wahrscheinlichkeitsverteilung der binären Zustände,

Fig. 9 die dazugehörige Verteilungsdichte,

Fig. 10 eine Variante der weiteren Meßeinrichtung zur 40 schnelleren Messung,

Fig. 11 Wahrscheinlichkeitsdichteverteilungen in Abhängigkeit von der Dispersion,

Fig. 12 die Ermittlung der optimalen Dispersionskompensation und

Fig. 13 eine Meßanordnung.

In Fig. 1 ist eine Meßeinrichtung zur Bewertung der Signalqualität dargestellt. Sie enthält eine erste Abtaststufe 1 im "Arbeitskanal", die zum Zeitpunkt der wirksamen Flanke des Taktsignals Cl mit einem ersten zumindest annähernd optimalen Schwellwert Sw (w - working channel) das im Basisband vorliegende elektrische Binärsignal BS abtastet. Der einstellbare Schwellwert Sw liegt zweckmäßigerweise etwa in der Mitte zwischen den beiden idealen Signalpegeln, die die logische Eins bzw. die logische Null repräsentieren. Parallel hierzu erfolgt gleichzeitig die Abtastung mittels einer zweiten Meß-Abtaststufe 2 in einem "Meßkanal", deren Schwellwert Sv (v - variabel) ebenfalls veränderlich ist. Die Ausgänge beider Abtaststufen sind über ein Exklusiv-ODER-Gatter 3 zusammengefaßt, das als Ausgangssignal einen Vergleichswert angibt, der bei ungleichen Abtastergebnissen logisch 1 ist. Innerhalb eines Meßintervalls werden die Vergleichswerte VD von einem (digitalen oder analogen) Integrator 4 aufsummiert. Der so ermittelte Vergleichssummenwert IW wird dann in einen Speicher 5 einer nicht dargestellten Auswerteeinheit mit einem Intervalltakt-signal TI eingeschrieben, der auch die Zähler zurücksetzt. Dieser Vorgang wird für beispielsweise 200 unterschiedliche Schwellwerte wiederholt, bis sich eine möglichst ge-

naue Verteilungsfunktion zwischen dem kleinsten und dem größten möglichem Abtastwert bzw. Schwellwert ergibt.

In Fig. 2 ist zum besseren Verständnis zunächst die Verteilungsdichte von Abtastwerten eines empfangenen Binärsignal dargestellt. Diese würde man – im Gegensatz zur Messung mit der Einrichtung nach Fig. 1 – erhalten, wenn direkt die Amplituden der Abtastwerte gemessen würden. Die waagerechte Achse gibt die möglichen Amplituden der Abtastwerte S_i an; auf der senkrechten Achse ist die Verteilungsdichte $P(S_i)$ für das Auftreten von Abtastwerten mit bestimmten Amplituden S dargestellt.

Für die Verteilungsdichte gilt

$$P(S) = \frac{\sum S_i}{\sum \text{Bits}}$$

Bei einem eingezeichneten Amplitudenwert S_{50} tritt ein erstes Maximum auf. Dieser Amplitudenwert entspricht etwa dem mittleren Wert für die logische Null. Mit zunehmenden Amplitudenwerten nimmt die Verteilungsdichte wieder ab, bis sie ein neues Maximum bei einem Amplitudenwert S_{150} erreicht, der den mittleren Amplitudenwert für die logische Eins repräsentiert. Anschließend fällt die Funktion wieder ab.

Bei der mit einer Meßanordnung nach Fig. 1 durchgeführte Messung werden aber, wie bereits beschrieben, nicht mehr die einzelnen Amplitudenwerte abgetastet und gespeichert, da dies sehr schnelle Schaltungen erfordern würde. Dagegen wird bewertet, ob die Abtastwerte in beiden Abtaststufen übereinstimmen oder nicht. Da gemäß Fig. 1 die ungleichen Abtastwerte integriert werden, ergibt sich bei der in Fig. 3 ermittelten Verteilungsfunktion $V(S)$ ein Minimum, wenn die Abtastschwelle S_w und S_v identisch sind. Wird jetzt der variable Schwellwert S_v verkleinert, so wird es mit zunehmender Differenz der Schwellwerte zu immer häufigeren Abweichungen kommen. Ein sehr niedriger variabler Schwellwert S_v der zweiten Entscheiderstufe 2 wird daher fast immer ein Überschreiten der Schwelle bewirken. Damit werden als Abtastwerte im Meßkanal logische Einsen überwiegen, obwohl als Bit eine logische Null empfangen wurde, deren Pegel jedoch oberhalb der Schwelle lag. Mit oberhalb des konstant gehaltenen Schwellwertes S_w liegenden und weiter zunehmenden Schwellwerten ergibt sich ebenfalls ein Anstieg der Verteilungsfunktion, da nunmehr die Abtaststufe des Meßkanals häufiger die logische Null abgibt, da der erforderliche Pegel von einer log. Eins des Binärsignals nicht erreicht wird.

Da bei der Meßeinrichtung nach Fig. 1 stets alle oberhalb (bzw. unterhalb) des variablen Schwellwertes S_{v1} liegenden Abtastwerte bewertet werden, entspricht die gemessene Verteilungsfunktion Fig. 3 dem Integral der Verteilungsdichtefunktion nach Fig. 2. Oder, anders ausgedrückt, Fig. 2 ist der Betrag der Ableitung der in Fig. 3 dargestellten Funktion. Als Beispiel ist ein Integrationswert IW_1 für zwei bestimmte Schwellwerte S_w und S_{v1} eingezeichnet.

Nur wenn die variable Schwelle in sehr feinen Stufen verändert wird, ergibt sich eine relativ genaue und daher glatte Verteilungskurve. Dies ist aber auch nur dann der Fall, wenn die Messungen ausreichend exakt sind und nicht statistischen Schwankungen unterliegen. Die Meßintervalle für die unterschiedlichen Abtastschwelle sollten daher entsprechend den unterschiedlichen Vergleichssummenwerten gewählt werden. Bei nur wenigen auftretenden Unterschieden werden die Meßintervalle vergrößert, während bei häufig auftretenden Unterschieden die Meßintervalle verkürzt werden können.

Die Auswertung der Verteilungsdichtekurven kann ent-

sprechend dem bekannten Verfahren erfolgen. So ist es allgemein üblich, einen Signalqualitätsparameter Q zu berechnen aus:

$$Q = \frac{A}{\sigma_a + \sigma_b}$$

wobei $A = b - a$ die Signalamplitude ist und σ_a und σ_b die Standardabweichungen bei einer angenommenen Gaußverteilung sind. Näheres kann der älteren Anmeldung DE 198 12 078.8 entnommen werden oder C. Glingener: "Modellierung und Simulation faseroptischer Netze mit Wellenlängenmultiplex"; WFT-Verlag, 1998, Seite 102 bis 118.

In Fig. 4 ist eine weitere besonders vorteilhafte Einrichtung zur Messung einer Wahrscheinlichkeitsverteilung dargestellt, aus der ebenfalls die Verteilungsdichte abgeleitet werden kann. Diese Schaltung enthält wieder zwei Abtaststufen 1 und 2, aber bis zu drei Zähler bzw. Integratoren 6, 7 und 8. Der erste Zähler 6 zählt die Anzahl IB der Bits während eines Meßintervalls, den Bitsummenwert. Der zweite Zähler 7 ist im Arbeitskanal an den Ausgang ist der Abtaststufe 1 angeschlossen und zählt die Anzahl der logischen Einsen, die mit zweiter Summenwert IE bezeichnet werden, während eines Meßintervalls. Der dritte Zähler 8 ist im Meßkanal an den Ausgang der zweiten Abtaststufe 2 angeschlossen und zählt bei unterschiedlichen Schwellwerten S_v ebenfalls die Anzahl IV mit logisch Eins bewerteten Bits VE, den ersten Summenwert IV. Die Summenwerte IB, IE und IV werden am Ende eines Meßintervalls einer Zwischenverarbeitungseinrichtung 9 zugeführt, in der die Normierung stattfindet oder zunächst in Speicher eingeschrieben und später normiert und verarbeitet. Danach wird der Meßvorgang mit einer veränderten Abtastschwelle wiederholt, bis die in Fig. 6 dargestellte Wahrscheinlichkeitsverteilung $WV(S)$ ermittelt werden kann.

Geht man zunächst von einer Gleichverteilung von logischen Einsen und Nullen des Binärsignals BS aus, dann würde man bei einer Auswertung der Abtastwerte die in Fig. 5 dargestellte Wahrscheinlichkeitsdichte $WD(S)$ erhalten.

Mit der Meßeinrichtung nach Fig. 4 wird jedoch die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten eines bestimmten Binärzustandes gemessen. Wird nun mit einem so niedrigen Schwellwerte begonnen, daß im Meßkanal alle empfangenen Signalwerte oberhalb der Schwelle liegen und deshalb als logische Eins gewertet werden, so wird eine größtmögliche Wahrscheinlichkeit ermittelt. Wird dann der Schwellwert von Meßintervall zu Meßintervall erhöht, so wird sich die Wahrscheinlichkeit zunächst stetig reduzieren bis sie bei einem mittleren Schwellwert – eine Gleichverteilung von logischen Nullen und Einsen vorausgesetzt – etwa bei 0,5 liegt, um dann weiter auf Null abzunehmen. Die Ermittlung der Bitanzahl während eines Meßintervalls dient zur Normierung der Meßergebnisse bei ungleich langen Meßintervallen. Für die Wahrscheinlichkeitsverteilung von logischen Nullen im Meßkanal würde man eine gestrichelt eingezeichnete komplementäre Verteilungsfunktion erhalten.

Entsprechend den bereits bei der Meßanordnung nach Fig. 1 angeführten Zusammenhängen kann durch Differenzieren der Verteilungsfunktion nach Fig. 6 und. Betragsbildung eine Wahrscheinlichkeitsdichte WDI gemäß Fig. 7 ermittelt werden, die "invers" zur Verteilungsdichte der Abtastwerte des Signals ist (oder es wird die Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion der logischen Nullen ermittelt bzw. dieses Problem durch Betragsbildung vermieden).

Bei der Meßanordnung ist es gleichgültig, ob das Auftreten von logischen Einsen oder logischen Nullen bewertet wird. Alternativ zur Zählung der Bits innerhalb eines Meß-

menwert (IB) gespeichert wird und daß aufgrund der gespeicherten Summenwerte (IV) die Wahrscheinlichkeitsfunktion (WV(Sv), WW(Sv)) als Funktion des veränderlichen Schwellwertes (Sv) für das Auftreten eines Binärzustandes ermittelt wird. 5

3. Verfahren zur Messung der Signalqualität in optischen Übertragungssystemen, bei dem ein optisches Binärsignal (BS) in einem Arbeitskanal mit einem ersten Schwellwert (Sw) abgetastet wird und in einen Meßkanal mit einem zweiten Schwellwert (Sv) abgetastet wird, dadurch gekennzeichnet, daß das Binärsignal (BS) im Meßkanal während mehrerer Meßintervalle jeweils mit unterschiedlichen Schwellwerten (Sv) abgetastet wird, daß die Anzahl der im Meßkanal abgetasteten logischen Nullen oder Einsen während jedes Meßintervalls integriert wird und als erster Summenwert (IV) gespeichert wird, daß die Anzahl der während einer Meßperiode im Arbeitskanal empfangenen Nullen oder Einsen gemessen und als zweiter Summenwert (IE) gespeichert wird und daß aufgrund der gespeicherten Summenwerte (IV, IE) die Wahrscheinlichkeitsfunktion (WV(Sv), WW(Sv)) als Funktion des veränderlichen Schwellwertes (Sv) für das Auftreten eines Binärzustandes ermittelt wird. 25

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß nach jedem Meßintervall die Differenz zwischen dem Summenwert der logischen Nullen des Meßkanals und logischen Nullen des Arbeitskanals oder der logischen Einsen des Meßkanals und logischen Einsen des Arbeitskanals gebildet wird, daß die Differenzwerte zwischengespeichert werden und daß aus den Differenzwerten die Wahrscheinlichkeitsfunktion WD(Sv) ermittelt wird. 30

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Wahrscheinlichkeitsverteilung (WV, WW) unter Berücksichtigung der zweiten Summenwerte (IE) im Arbeitskanal und/oder des Summenwertes (IB) der jeweils während eines Meßintervalls bewerteten Bits ermittelt wird. 40

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß unterschiedliche lange Meßintervalle verwendet werden.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß eine synchrone Abtastung des Binärsignals (BS) erfolgt. 45

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Abtastung parallel in mehreren Meßkanälen mit unterschiedlichen Schwellwerten (Sv1 bis Svn) erfolgt. 50

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Abtastung parallel in mehreren Meßkanälen mit unterschiedlichen Schwellwerten (Sv1 bis Svn) während nur eines Meßintervalls erfolgt.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß im Meßkanal der Abtastzeitpunkt nach jeweils einem Meßintervall geändert wird. 55

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Messungen der Wahrscheinlichkeitsverteilungen mit unterschiedlich eingestellten Dispersionswerten erfolgen, daß die Meßergebnisse zwischengespeichert werden und daß daraus ein zumindest nahezu optimaler Wert für die Dispersionskompensation ermittelt wird. 60

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Wahrscheinlichkeitsdichteverteilung (P(S), PD(S), PI(S)) ermittelt wird 65

und daraus Kriterien für die Bewertung und/oder Optimierung der Signalqualität abgeleitet werden.

13. Anordnung zur Qualitätsüberwachung von WDM-Signalen, dadurch gekennzeichnet, daß eine Kanalauswahlschaltung (10) vorgesehen ist, mit der jeweils ein WDM-Kanal ausgewählt und, einer nach einer optoelektrischen Wandlung einer Meßeinrichtung (13) zugeführt wird, daß die wesentlichen Signalparameter gemessen werden und daß die Wahrscheinlichkeitsverteilung der Abtastungsergebnisse entsprechend einem der Ansprüche 1 bis 10 gemessen wird.

Hierzu 8 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

FIG 1

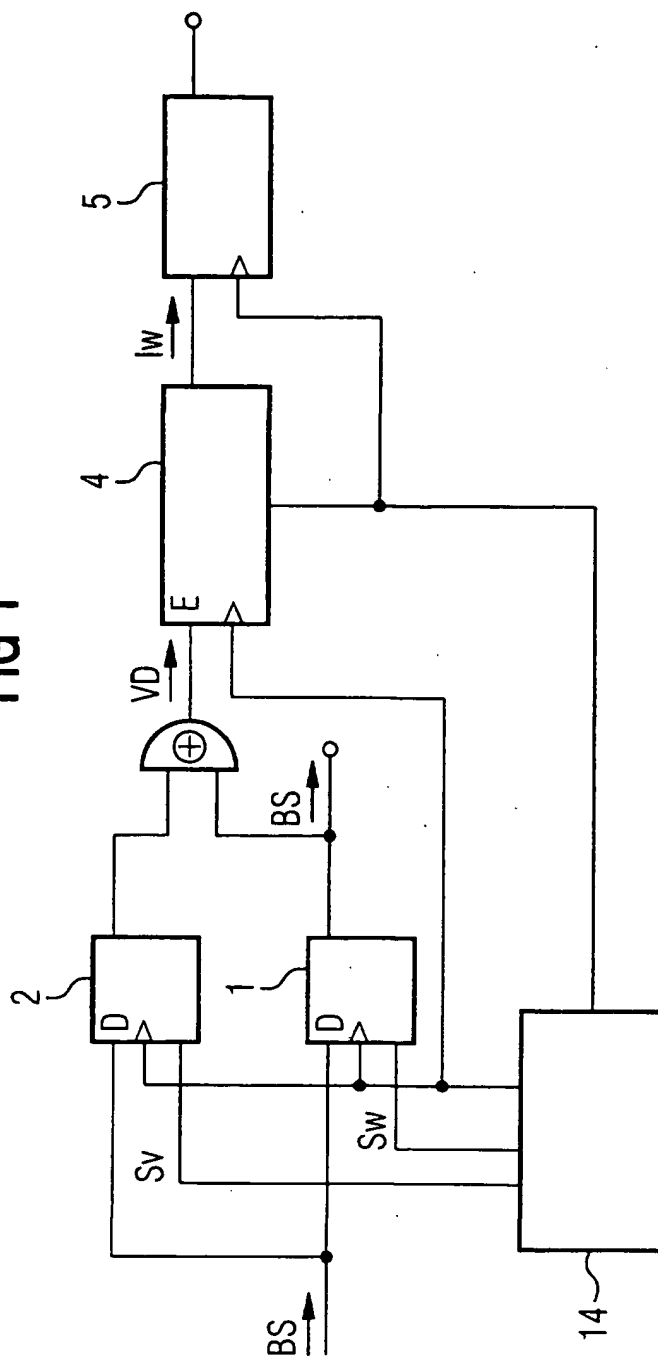


FIG 2

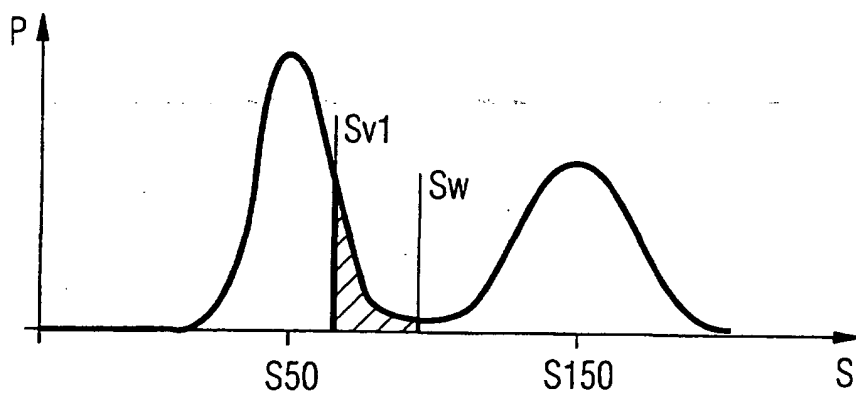


FIG 3

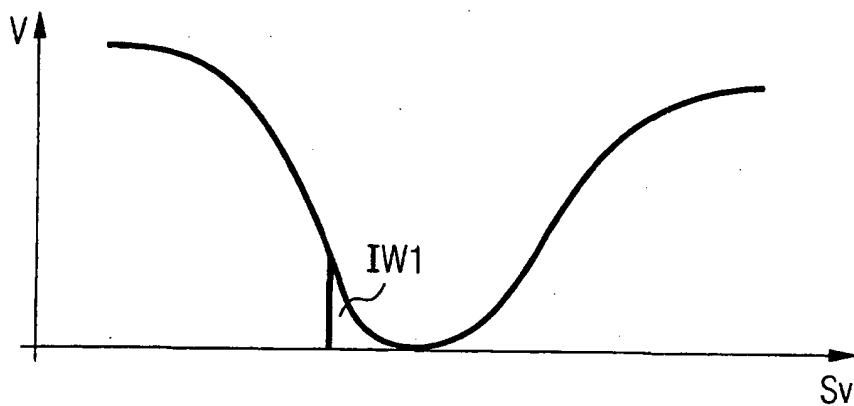
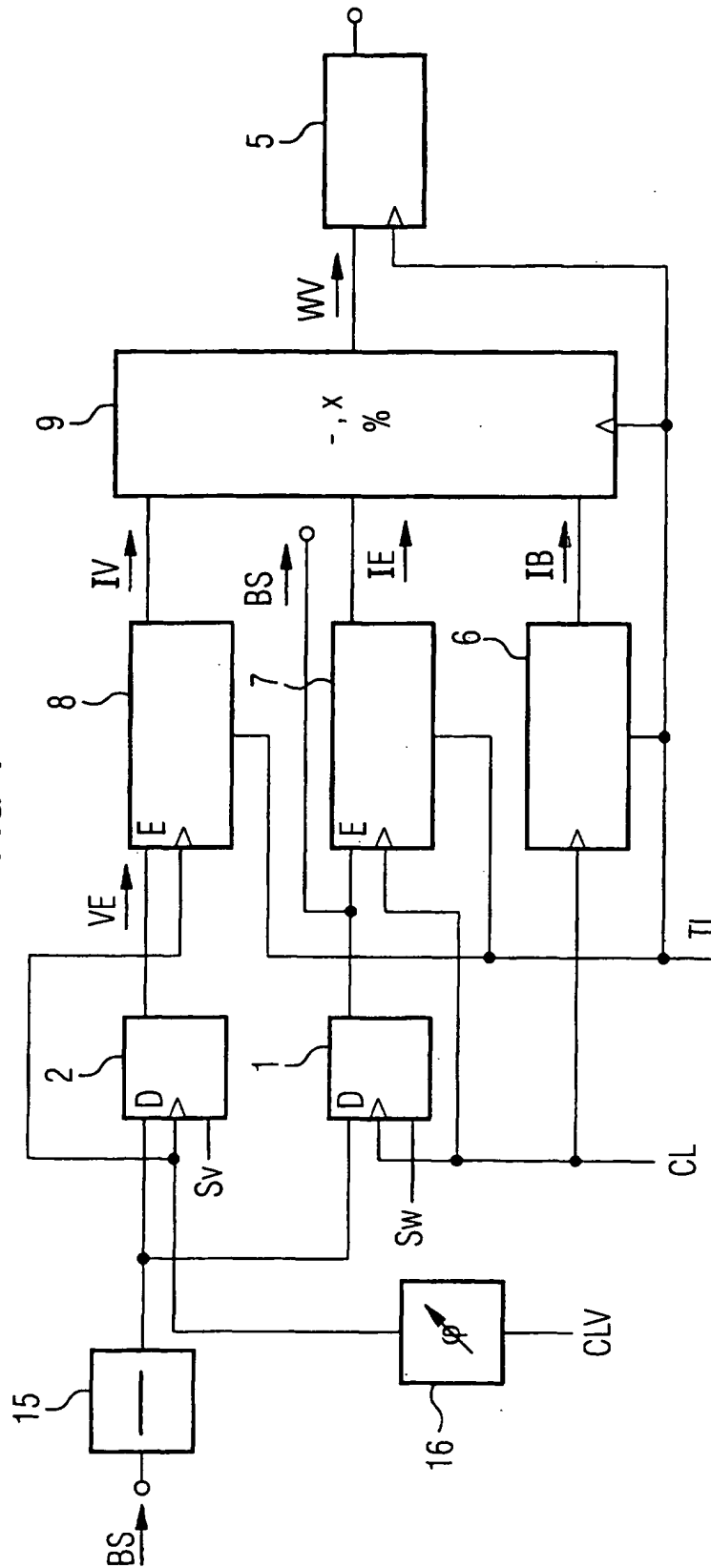


FIG 4



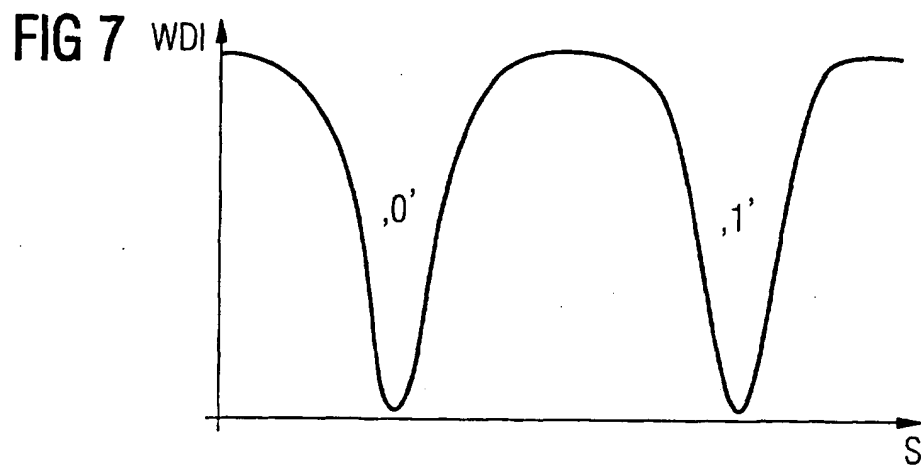
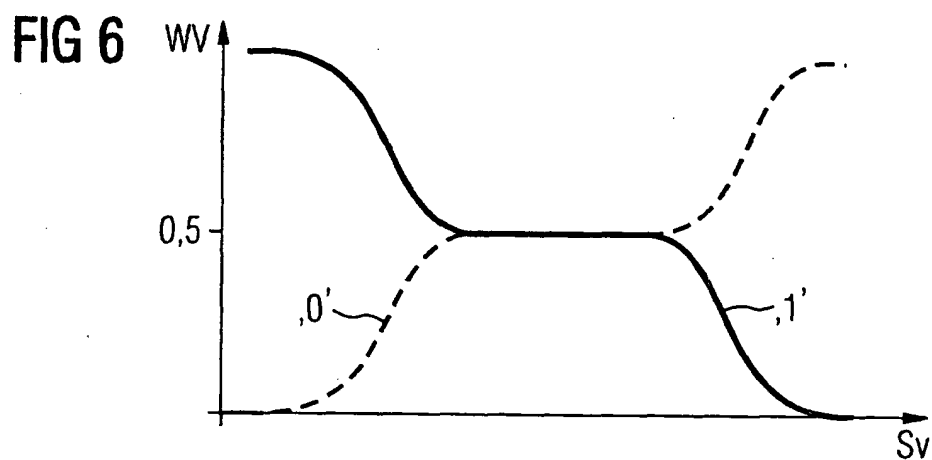
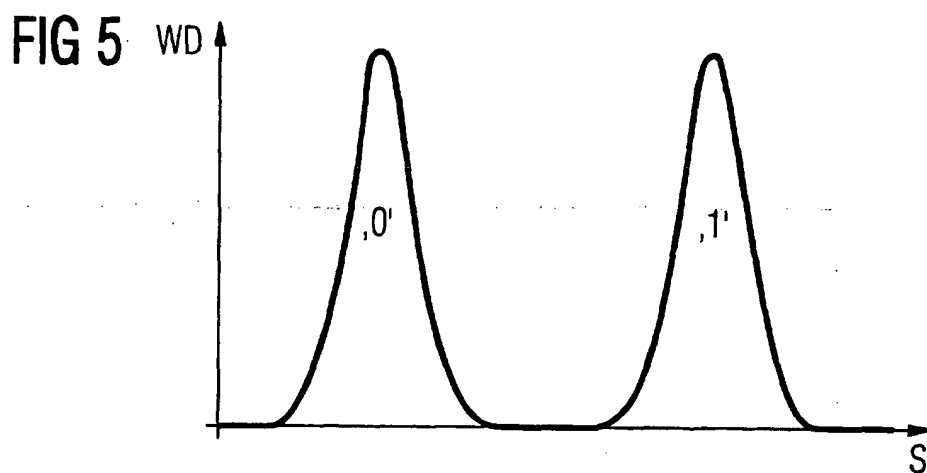


FIG 8

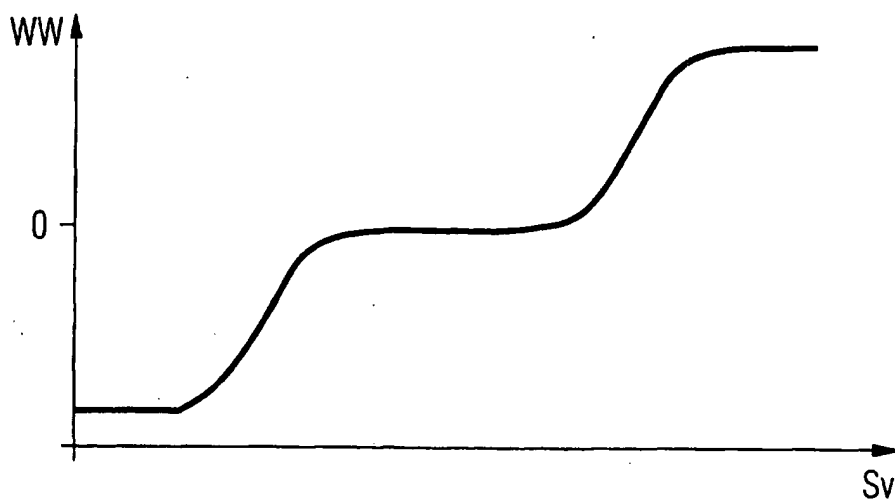


FIG 9

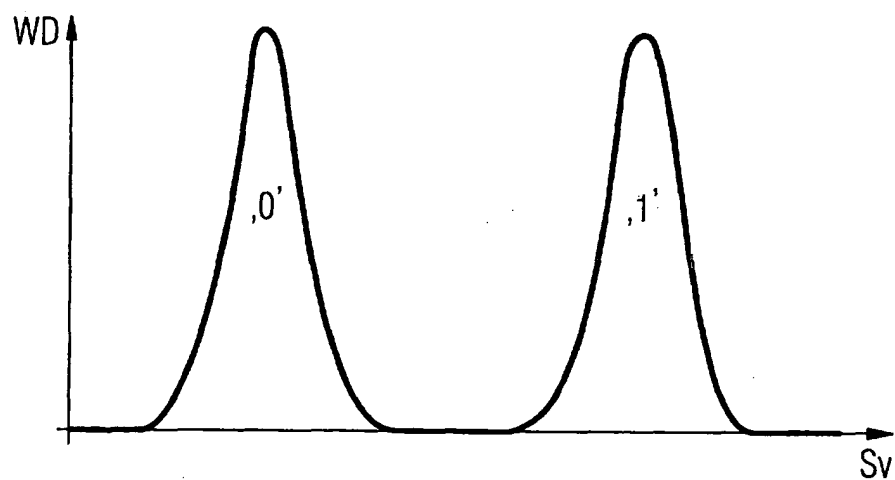


FIG 10

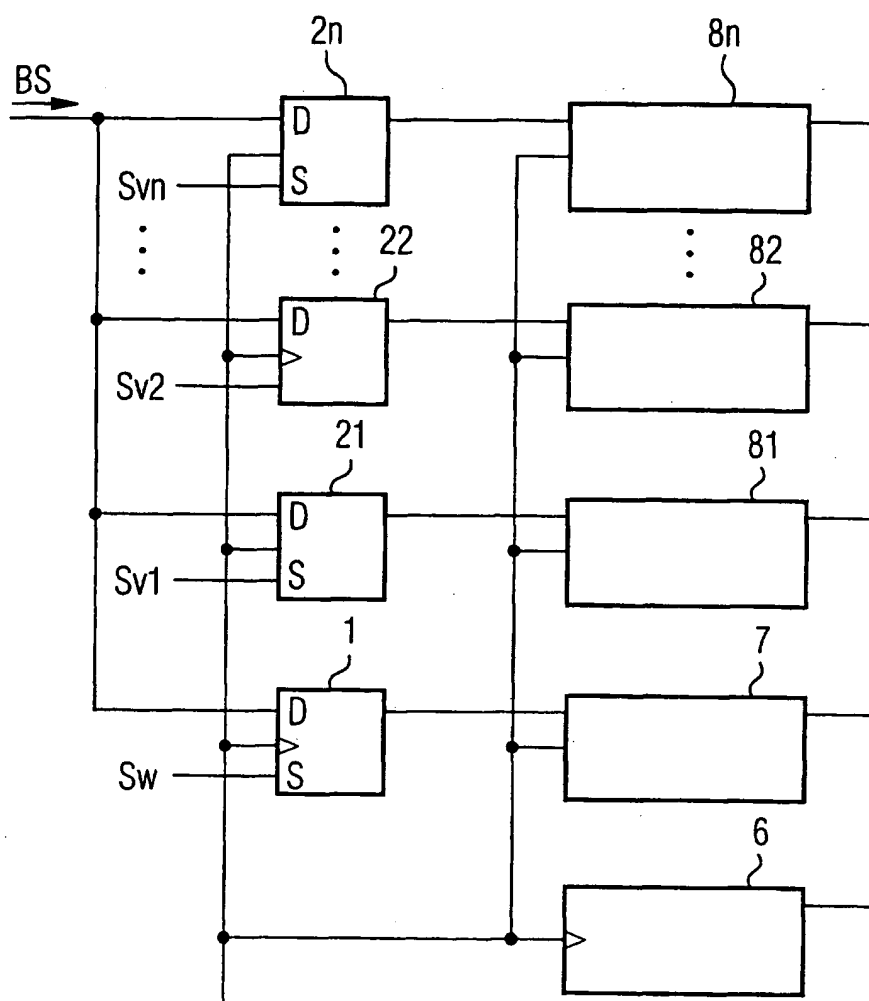


FIG 11

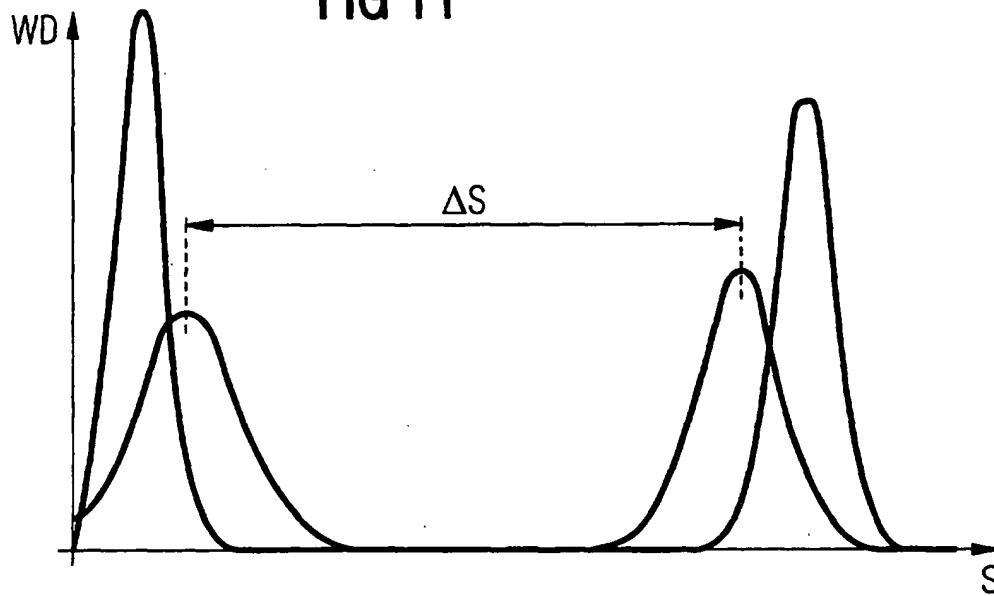


FIG 12

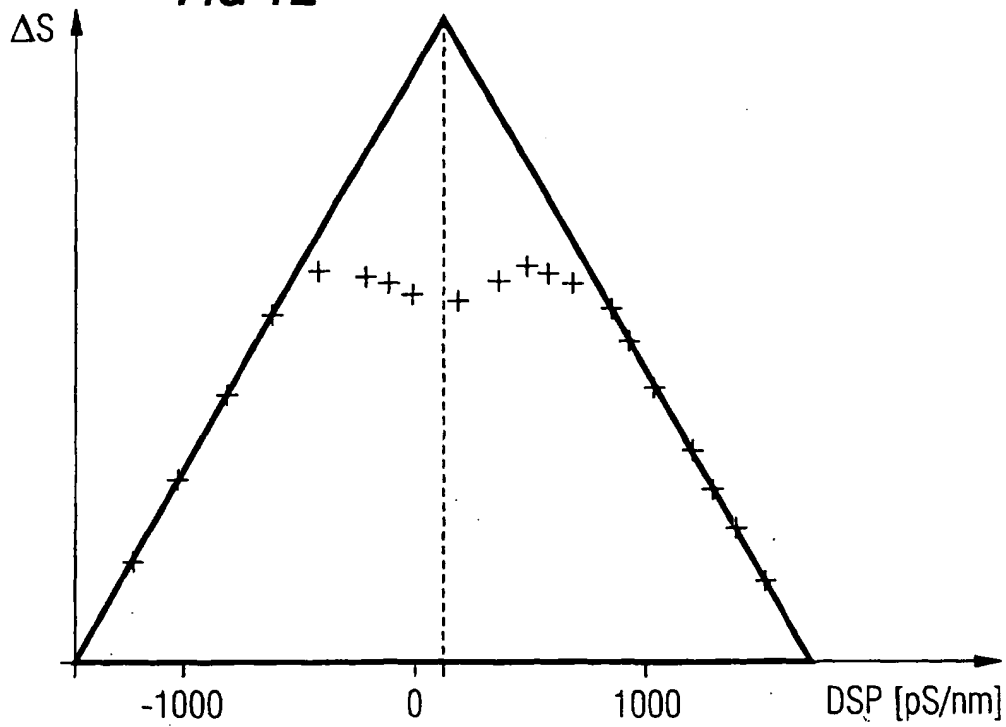


FIG 13

